

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Електроенергетики
(інститут)
Електротехнічний
(факультет)
Кафедра Електроенергетики
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студентки Кравець Наталії Анатоліївни
(ПІБ)

академічної групи 141-17ск-2
(шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва спеціальності)

спеціалізації

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(офіційна назва)

на тему Розрахунок сонячної електростанції для фермерського господарства «Дарина-Агро» с.
Зарічани, Житомирської області
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Ципленков Д.В.			
розділів:				
Технологічний	Ципленков Д.В.			
Спеціальний	Ципленков Д.В.			
Економічний	Тимошенко Л.В.			
Охорона праці	Столбченко О.В.			
Рецензент	Ципленков Д.В.			
Нормоконтролер	Олішевський Г.С.			

Дніпро
2020

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

електроенергетики

(повна назва)

Рогоза М.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«_____» _____ 2020 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеню бакалавра
 (бакалавра, спеціаліста, магістра)

студентці Кравець Н.А. академічної групи 141-17ск-2
 (прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

спеціалізації _____

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(офіційна назва)

на тему Розрахунок сонячної електростанції для фермерського господарства “Дарина-Агро” с. Зарічани, Житомирської області

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від _____ № _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
Технологічний	Аналіз використання відновлюваних джерел енергії, короткий опис підприємства	
Спеціальний	Розрахунок сонячної електростанції та вибір обладнання	
Економічний	Техніко-економічні показники об'єкту	
Охорона праці	Охорона праці під час експлуатації об'єкту, розрахунок заземлення	

Завдання видано

(підпис керівника)

(прізвище, ініціали)

Дата видачі _____

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

Прийнято до виконання

(підпис студента)

(прізвище, ініціали)

Реферат

Пояснювальна записка містить в собі 58 аркушів, 8 таблиць, 13 рисунків, 15 посилань.

Мета дипломного проекту: розрахунок сонячної електростанції для фермерського господарства «Дарина-Агро».

У вступі розглядається доцільність використання відновлюваних джерел енергії та їх потенціал.

В технологічному розділі проаналізовано використання відновлюваних джерел енергії в сільському господарстві, стан сонячної енергетики в Україні, розглянуто типи сонячних панелей та охарактеризовано підприємство.

В спеціальному розділі проаналізовано рівень інсоляції для с. Зарічани Житомирської області, виконано розрахунок сонячної електростанції та обрано обладнання.

В економічному розділі розраховано капітальні та експлуатаційні витрати, наведено техніко-економічні показники, а також визначено терміни окупності об'єкту.

В розділі «Охорона праці» наведено інформацію щодо небезпечних чинників сонячної станції, інженерно-технічні заходи з охорони праці та розраховано заземлення для об'єкту.

Практичне значення проекту полягає у тому, що сонячна електростанція за техніко-економічним обґрунтування має досить швидку окупність і є економічно вигідною.

Ключові слова: СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, ФОТОМОДУЛІ, ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО, ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЯ.

Зміст

Вступ.....	6
1 Технологічний розділ.....	7
1.1 Технології та обладнання відновлюваних джерел енергії в сільськогосподарському виробництві.....	8
1.2 Стан сонячної енергетики в Україні.....	10
1.3 Типи сонячних панелей.....	11
1.4 Опис підприємства та вихідні дані.....	14
2 Спеціальний розділ.....	16
2.1 Вибір фотомодулів.....	17
2.2 Розрахунок потужності сонячної електростанції.....	20
2.3 Вибір кількості та параметрів інверторного обладнання для покриття потужності фотоелектричної станції.....	24
2.4 Розрахунок струмів короткого замикання.....	28
2.4.1 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 10 кВ.....	29
2.4.2 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі до 1000 В.....	31
2.5 Вибір параметрів кабельної лінії напругою 0,4 кВ.....	34
2.6 Вибір комутаційного обладнання на напругу 0,4 кВ.....	36
3 Економічний розділ.....	40
3.1 Розрахунок капітальних витрат.....	41
3.2 Розрахунок експлуатаційних витрат.....	44
3.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань.....	44
3.2.2 Розрахунок річного фонду заробітної плати.....	45
3.2.3 Витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування.....	45
3.2.4 Розрахунок вартості спожитої електроенергії.....	46
3.3 Визначення річної економії від впровадження науково-технологічного рішення.....	46

3.4 Визначення та аналіз показників економічної ефективності.....	47
3.5 Висновки.....	48
4 Охорона праці.....	49
4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих чинників сонячної електростанції.....	50
4.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці.....	51
4.3 Пожежна профілактика.....	52
4.4 Розрахунок захисного заземлення.....	53
Висновок.....	56
Список літератури.....	57

Вступ

Енергетичний потенціал відновлюваних джерел енергії більшості країн світу в декілька разів перевищує енергоспоживання. Використання альтернативної енергії є екологічно чистим та доступним. Це сприяє розвитку енергоефективності економіки. Але на шляху цього розвитку постає ряд проблем. До серйозних недоліків, які обмежують широке застосування, відноситься невисока щільність енергетичних потоків, їх мінливість у часі і, як наслідок цього, необхідність значних витрат на устаткування, що забезпечує збір, акумулювання і перетворення енергії [1]. Не дивлячись на це, багато країн досягли успіхів в цьому напрямку і успішно конкурують на ринку енергетичних послуг, в тому числі у виробництві електричної і теплової енергії.

Вартість енергії, одержуваної від відновлюваних джерел, протягом останніх років стрімко знижується, і в умовах протилежної тенденції зростання цін на традиційні енергоресурси багато технологій використання відновлюваних джерел стають все більш конкурентоспроможними. В першу чергу, це відноситься до швидко прогресуючих технологій використання біомаси для виробництва тепла та електроенергії, сонячних водонагрівачів, фотоперетворювачів, міні- і мікро-ГЕС, вітроустановки, теплонасосних систем теплопостачання.

1 Технологічний розділ

1.1 Технології та обладнання відновлюваних джерел енергії в сільськогосподарському виробництві.

Наше сьогодення можна охарактеризувати двома основними критеріями: постійно зростаючим техногенним навантаженням та загостренням екологічних проблем. Для вирішення цих питань необхідно забезпечити баланс між розвитком енергетики та екології. Справа в тім, що споживання енергії – це одна з найважливіших умов для задоволення потреб людини. Але розвиток енергетики, особливо традиційної – згубність екології.

Особливо актуальним це питання у сільськогосподарському виробництві, так як вітер, сонце, біомаса – невичерпні джерела енергії, що дає можливість фермеру не лише отримувати різні види енергії, забезпечуючи комфортність життя та задоволення потреб, а й мати постійний прибуток.

Серед відновлюваних джерел енергії істотне місце посідає вітрова енергетика. Потенціал енергії вітру в межах території України в 1500-2000 разів перевищує її нинішні потреби в електроенергії [1]. Вітрова енергетична установка (ВЕУ) використовує перетворення кінетичної енергії рухомих повітряних мас в електричну енергію. Кілька десятків вітрогенераторів, об'єднані в одну мережу, утворюють вітрову електростанцію. В свою чергу вітроенергетична установка представляє собою сукупність взаємопов'язаного обладнань і споруд. Сюди відноситься:

- вітроагрегат – основна частина ВЕУ, яка складається з вітродвигуна, вітроколеса, систем регулювання частоти обертів та орієнтації ВЕУ;
- системи автоматичного керування вітроагрегатом;
- системи перетворення електроенергії;
- опора для установки вітроагрегату.

Перевагами використання енергії вітру є доступність і невичерпність ресурсу, його не потрібно видобувати та транспортувати, а також

експлуатація вітрових електричних станцій проста, з мінімальними витратами. Територія, що знаходиться в безпосередній близькості може бути повністю використана для сільськогосподарських цілей.

З кожним днем в Україні набирає обертів використання біомаси, як відновлюваного джерела енергії. Від всіх інших альтернативних джерел енергії її відрізняє універсальність застосування (в теплопостачанні, електрогенерації і в транспортному секторі), здатність замінювати будь-який елемент традиційного енергобалансу (вугілля, нафта, газ), а останнім часом виступати також в якості хімічної і біотехнологічної сировини. До того ж, на відміну від інших альтернативних джерел, енергія яких, як правило, залишається локальною і споживається в момент генерації, біомаса може зберігатися, транспортуватися і продаватися безпосередньо як первинна сировина, так і у вигляді своїх похідних [1]. Вже сьогодні можна скоротити споживання природного газу, яке являється актуальною проблемою енергетики України, за рахунок заміщення традиційного палива енергією відходів сільськогосподарського виробництва та звалищ, яка є одним з перспективних відновлюваних джерел енергії в країні.

Зараз основою проблемою біопалива в аграрному світі є вибір між «їжею» та біопаливом. Це пов'язано з тим, що багато фермерів використовують біопаливо на рослинній основі, що може призвести до дефіциту продовольства та підвищення цін [1].

Таким чином, виробництво електричної енергії з біопалива отримає значний поштовх лише тоді, коли в сільськогосподарське виробництво почнуть вводити резервні землі.

Використання відновлюваних джерел енергії – це перспективний напрям, що дозволяє створити надійні системи енергозабезпечення та дає можливість покращити умови життя населення.

Сонячна енергія широко використовується у випадках, коли інші джерела енергії недоступні. Сільське господарство – це одна з галузей, яка може отримати величезну користь від використання сонячної енергії.

Використання сонячних батарей не обмежується одержанням електроенергії для продажу за «зеленим тарифом» або водою для опалення, якщо її правильно використовувати, енергія від сонця може бути використана для покращення та оптимізації роботи багатьох районів у роботі сільськогосподарських підприємств. Сонячну енергію можна використовувати в сільському господарстві різними способами, заощаджуючи гроші, збільшуючи енергонезалежність і допомагаючи зберегти довкілля.

1.2 Стан сонячної енергетики в Україні

Ситуація з впровадженням нетрадиційних поновлюваних джерел енергії в агропромисловому секторі України на даний час характеризується такими основними рисами: комплексне застосування сучасних методів, технологій і технічних засобів для альтернативного енергозабезпечення потребує додаткової законодавчої підтримки та довготермінової узгодженості державної політики у сфері енергозбереження; енергозабезпечення на основі використання поновлюваних джерел енергії вимагає вкладення значних фінансових і матеріальних ресурсів, що в сучасних умовах нашої економіки є досить серйозною проблемою; в Україні практично відсутнє серійне виробництво багатьох видів технологічного устаткування для використання нетрадиційних джерел енергії. Існує різниця в підходах до розвитку систем нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії в розвинених країнах і в Україні. В країнах з передовою економікою все більше уваги приділяється екологічним аспектам впровадження таких систем, тоді як в нашій країні ця галузь має першорядне соціально-економічне значення [2].

На сьогодні в Україні серед всіх відновлюваних джерел енергії сонячна енергетика займає провідні позиції. Це пояснюється тим, що сонячні станції

екологічні, прості в обслуговуванні та їх період окупності досить швидкий, що є достатньо важливим фактором.

За останні 5 років попит на сонячну енергетику значно збільшився, особливо помітний цей факт на приватних домогосподарствах. За даними Держенергоефективності станом на 2019 рік в Україні налічується 6,5 млн. таких господарств. Динаміку збільшення кількості сонячних електростанцій приведено на рисунку 1.



Рисунок 1 – Графік збільшення кількості сонячних електростанцій

Додатковим стимулюючим фактором стало прийняття механізму розвитку галузі через «зелений» тариф, завдяки якому привабливість сонячних електростанцій в Україні вийшла на новий рівень та з'явилися мережеві сонячні електростанції, за допомогою яких можна якої можна споживати вироблену електроенергію, а «залишки» віддавати до електричної мережі.

1.3 Типи сонячних панелей

Продуктивність сонячних панелей, в залежності від технології виробництва, коливається від 7 до 20%. До найпоширеніших технологій відносять:

1. Кристалічні фотоелементи:

- монокристалічні кремнієві фотоелементи;
- полікристалічні фотоелементи.

2. Тонкоплівкові фотоелементи:

- фотоелементи з використанням діселеніда індію і міді;
- фотоелементи з використанням телуриду кадмію;
- фотоелементи з використанням аморфного кремнію.

Монокристалічні модулі в основі містять монокристали кремнію. Візуально відрізняються рівним кольором. Панель виготовлена із злитків кремнію циліндричної форми. Сторону злитка обрізають і отримують кремнієвий диск із закругленими краями. Ці округлені краї - характерна особливість, за якою можна відрізнити монокристалічного структуру від полікристалічної.

Переваги: у виробництві використовується високоякісний кремній, тому монокристалічні елементи часто характеризуються кращими показниками, в тому числі і по продуктивності. Їх ККД може досягати 22% [3].

Монокристалічні типи панелей є більш компактними і займають менше вільного простору. При цьому вихідна потужність може бути в кілька разів більше, ніж у інших типів панелей. Термін експлуатації таких модулів найдовший (до 50 років), а гарантія деяких виробників поширюється на 25 років.

Варто відзначити і негативні моменти – вони мають високу вартість. Зазвичай їх можуть дозволити собі промислові підприємства. Для сільських господарств краще обирати інші види фотоелементів.

Полікристалічні панелі виготовляють шляхом плавлення сирого кремнію, який потім остуджують, отримуючи ідеальні квадратики. В якості сировини допускається використання не тільки чистого кремнію, але і вторинних матеріалів, що мають у своєму складі кремній. Це призводить до

появи домішок або незначних дефектів в структурі кристала, що знижує ефективність батареї [3].

Таке обладнання привертає увагу ціною, та добре підходить для використання в домашніх цілях, де незначні зміни продуктивності не грають ключову роль.

Однак, даний фотоелемент відрізняється меншою стійкістю до дії високих температур. Продуктивність полікристалічних елементів досягає лише 18%. Для отримання однакових електричних потужностей, полікристалічним елементам потрібно зайняти більш широку площу покриття, чим монокристалічним.

До початку XXI століття частка кремнієвих панелей на ринку становила понад 99,8% пропозицій. За 20 років вона знизилася до 77%, і продовжує стрімко зменшуватися і далі. Причина цього в появі тонкоплівкових варіантів панелей, що відрізняються меншою вагою, на 20-25% збільшеною продуктивністю і набагато кращою функціональністю. На відміну від ідеальних, але дорогих моделей, гібридні панелі на базі телуриду кадмію набагато дешевше, не менш надійні і довговічні.

Виробничий процес тонкоплівкових панелей полягає в вакуумному напиленні фотоелектричного матеріалу у вигляді тонкої плівки на підкладку-основу. Залежно від необхідних характеристик використовуються різні типи підкладок і види речовин, що напилюються. Зокрема, матеріалами для напилення тонких плівок служать: аморфний кремній, телурид кадмію, мідь, індій, галій, сполуки селену - селеніди, різні органічні елементи [3].

Продуктивність таких фотомодулів складає від 7 до 13%.

До переваг можна віднести:

- низька собівартість виробництва, отже, більш низька ціна на панелі в цілому;
- естетичний зовнішній вигляд конструкції, обумовлений високою однорідністю;

- тонка плівка може бути різних форм і розмірів, а також має чудову гнучкість;

- ці сонячні панелі зазвичай зберігають свою ефективність при високих температурах.

Недолік — більшість тонкоплівкових сонячних панелей менш ефективні, ніж моно- і полікристалічні сонячні панелі, а це означає, що вони займають більше місця для вироблення такої ж кількості електроенергії.

1.4 Опис підприємства та вихідні дані

Фермерське господарство «Дарина-Агро» розташоване в с. Зарічани, Житомирської області, Житомирського району. Сфера діяльності — вирощування агрокультур та їх переробка. Основний вид агрокультури — пшениця, ячмінь та жито.

Технологічний процес, а саме цикли виробництва поділяються на:

- осінньо-зимові роботи;
- весняні роботи;
- весняно-літні.

До цих робіт відносяться обробка та підготовка землі, внесення різних добрив, пестицидів, роботи з посіву та збору врожаю. Далі пшеницю очищають та при необхідності сушать. Наступний крок — обробка землі після збору, а також приймання та розміщення зерна в зерносховищах. Тут можливо тимчасово або тривало зберігати зернові культури. Останнім етапом є реалізація зерна.

Зерносховище має розміри 20x50 м, відповідно його площа складає 1000 м², при висоті 7 м. Така будова вміщує 2 тис. тонн зерна за умови засипки зерна на висоту 2,5 м.

На території розташовані 3 ангари для зерна. Їх зовнішній вигляд вказаний на рисунку 2.



Рисунок 2 – Зовнішній вигляд зерносховища

Саме на зерносховищах будуть розташовуватись сонячні панелі. У зв'язку з конструктивними особливостями споруди, обираємо тонкоплівкові фотомодулі – це найбільш економічно ефективно, немає необхідності у будівництві додаткових каркасів. Ще одним фактором, який посприяв вибору саме тонкоплівкових панелей є те, що влітку ангар нагрівається до високих температур, а дані сонячні панелі зможуть зберегти свою ефективність при таких умовах.

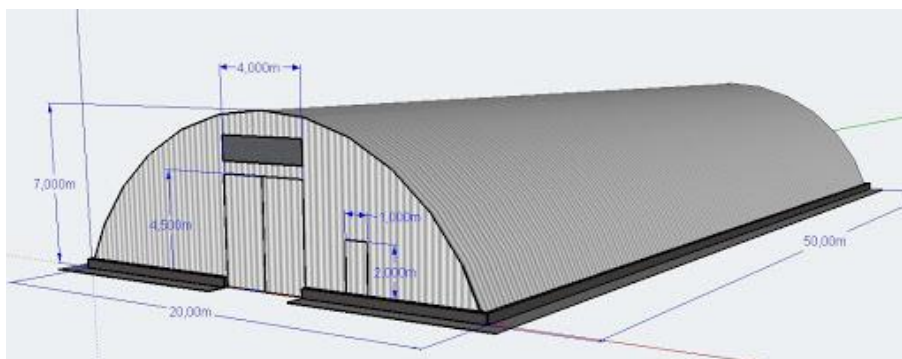


Рисунок 3 – Конструктивний вигляд ангара для зерна

Фермерське господарство має низьке споживання, тому доцільно встановити мережеву сонячну станцію.

2 Спеціальний розділ

2.1 Вибір фотомодулів

Для створення умов перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію, необхідно встановити фотоелектричних модулів.

Обираємо фотомодуль типу Solar Frontier SF165-S.

Технічні характеристики фотомодуля:

- країна виробник – Японія,
- тип панелі – тонкоплівкова,
- матеріал виготовлення модуля – ClGS (селенід Міді-Індію-Галію),
- матеріал рамки – алюміній,
- номінальна напруга – 85,5 (В),
- потужність – 165,0 (Вт),
- струм короткого замикання – 2,2 (А),
- напруга холостого ходу – 110,0 (В),
- мінімальна робоча температура – -40,0 (град.),
- максимальна робоча температура – 85,0 (град.),
- ККД – 14,0 (%),
- габаритні розміри – 1257 x 977 мм.
-

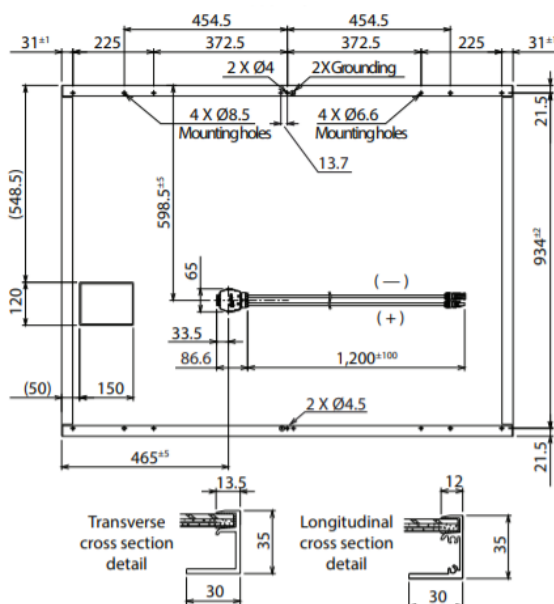


Рисунок 4 – Конструктивні особливості фотомодуля



Рисунок 5 – Зовнішній вигляд фотомодуля

Опираючись на технічні характеристики, визначаємо положення фотомодулів на зерноскховищі та їх кількість.

Кількість рядів фотомодулів

$$N_1 = C/l, \quad (2.1)$$

де $C = 25$ – довжина перекриття ангару, м,

l – висота фотомодуля, м.

$$N_1 = \frac{25}{1,257} = 19$$

1. Загальна кількість фотомодулів при вертикальному розташуванні

$$N_2 = N_1 * n_1 \quad (2.2)$$

$$n_1 = L/b, \quad (2.3)$$

де n_1 – кількість панелей, розташованих вздовж зерноскховища,

L – довжина зерноскховища,

b – ширина фотомодуля.

$$n_1 = \frac{50}{0,977} = 51$$

$$N_2 = 19 * 51 = 969$$

2. Загальна кількість фотомодулів при горизонтальному розташуванні

$$N_3 = N_1 * n_2 \quad (2.4)$$

$$n_2 = L/l, \quad (2.5)$$

де n_2 – кількість панелей, розташованих вздовж зерносховища,

L – довжина зерносховища,

l – висота фотомодуля.

$$n_2 = \frac{50}{1,257} = 39$$

$$N_3 = 19 * 39 = 741$$

Згідно розрахунків обираємо перший варіант розташування сонячних панелей.

Розраховуємо параметри кожного ряду фотомодулів на зерносховищі. Очікувана температура модуля обчислюється з NOCT за формулою:

$$T_{PTC} = 20 + 1,389 * (NOCT - 20) * (0,9 - \eta) \quad (2.6)$$

$$T_{PTC} = 20 + 1,389 * (45 - 20) * (0,9 - 0,14) = 41,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Очікувана реалістична потужність:

$$P_{PTC} = P_{STC} * [1 - C_T * (T_{PTC} - 25^\circ\text{C})], \quad (2.7)$$

де P_{STC} – потужність, заявлена в характеристиці модуля, Вт,
 C_T – температурний коефіцієнт потужності.

$$P_{PTC} = 165 * [1 - 0,0031 * (41,1 - 25)] = 156,8 \text{ Вт}$$

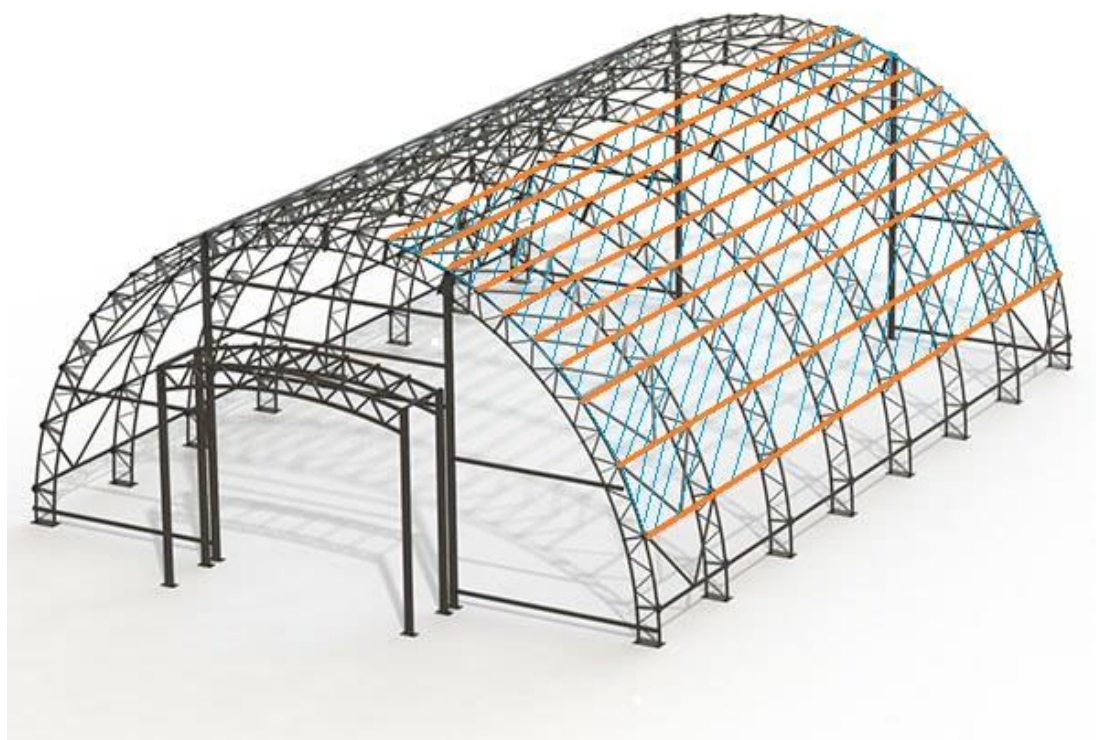


Рисунок 6 – Схематичне зображення розташування сонячних панелей на зерносховищі з однієї сторони (інша аналогічна)

2.2 Розрахунок потужності сонячної електростанції

Для розрахунку потужності майбутньої сонячної електростанції необхідно визначити середньомісячний рівень сонячної інсоляції s . Зарічани Житомирської області. Для цього використано дані NASA за останні 30 років, проаналізувавши які отримано таблицю 1.

Таблиця 1 – Середньомісячний рівень сонячної іррадіації (інсоляції) в с. Зарічани, кВт·год/(м²·день).

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Рівень сонячної інсоляції	0,9	1,78	2,76	4,04	5,26	5,6	5,31	4,82	3,26	1,92	0,94	0,7

Зерносховища розташовані фасадом на південь, тому необхідно використати поправочний коефіцієнт K_W , який знаходимо за діаграмою, вказаною на рисунку 6 [4].

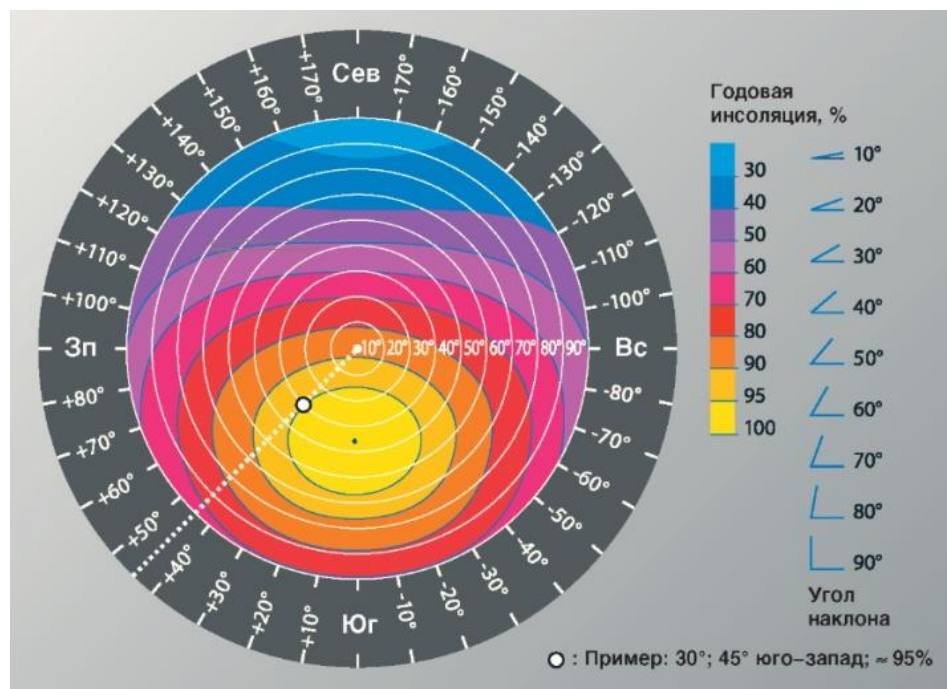


Рисунок 7 – Діаграма визначення поправочного коефіцієнта

Таблиця 2 – Параметри рядів фотомодулів

Номер ряду	Кут, під яким знаходяться панелі	K_W
1	9°	0,9
2	18°	0,9
3	27°	0,9
4	36°	0,8
5	45°	0,8
6	54°	0,8
7	63°	0,7
8	72°	0,7
9	81°	0,6
10	90°	0,6
11	81°	0,6
12	72°	0,7
13	63°	0,7
14	54°	0,8
15	45°	0,8
16	36°	0,8
17	27°	0,9
18	18°	0,9
19	9°	0,9

Обчислення виробництва електричної енергії сонячної електростанції для ряду:

$$W = N * \eta * S * E_n * D * K_W, \text{ кВт}\cdot\text{год} \quad (2.8)$$

де E_n – середньомісячний рівень сонячної іррадіації (інсоляції), кВт·год/(м²·день);

N – кількість панелей в ряді;

η – ККД фотоелектричного модуля;

S – площа однієї сонячної панелі, м^2 ;

D – кількість днів в місяці;

K_W – поправочний коефіцієнт

Таблиця 3 – Середньомісячна потужність сонячної електростанції кожного ряду, кВт

Номер ряду	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
1-3	0,3	0,59	0,91	1,33	1,73	1,84	1,75	1,58	1,07	0,63	0,31	0,23
4-6	0,26	0,52	0,81	1,18	1,54	1,64	1,55	1,41	0,95	0,56	0,27	0,20
7-8	0,23	0,46	0,71	1,03	1,35	1,43	1,36	1,23	0,83	0,49	0,24	0,18
9-11	0,20	0,39	0,61	0,89	1,15	1,23	1,16	1,06	0,71	0,42	0,21	0,15
12-13	0,23	0,46	0,71	1,03	1,35	1,43	1,36	1,23	0,83	0,49	0,24	0,18
14-16	0,26	0,52	0,81	1,18	1,54	1,64	1,55	1,41	0,95	0,56	0,27	0,20
17-19	0,3	0,59	0,91	1,33	1,73	1,84	1,75	1,58	1,07	0,63	0,31	0,23
Сумарна потужність	1,78	3,51	5,45	7,97	10,38	11,05	10,48	9,51	6,43	3,79	1,85	1,38

2.3 Вибір кількості та параметрів інверторного обладнання для покриття потужності фотоелектричної станції

Сонячний інвертор призначений для спільної роботи в системах безперебійного і основного енергопостачання, забезпечуючи відбір електричної енергії від сонячних панелей і здійснюючи перетворення в змінну напругу синусоїдальної форми.

Потужність ФЕС визначається потужністю інверторного обладнання, встановленого на ній.

Зважаючи на розраховану потужність обираємо гібридний сонячний інвертор типу ABi-Solar HT 10K3P. Кількість інверторів – 3.

Основні технічні характеристики сонячного інвертора типу ABi-Solar HT 10K3P:

- номінальна вихідна потужність – 10 000 Вт;
- максимальна вхідна потужність – 14 850 Вт;
- максимальна вхідна напруга – 900 В;
- діапазон напруг MPPT – 350-850 В;
- кількість незалежних MPP входів – 2;
- максимальний ККД – 96 %.



Рисунок 8 – Зовнішній вигляд інвертора

Максимальний струм в ланцюгові

$$I_{SC(Tr)} = I_{SC} \left[1 + (Tr - 25) \frac{a_T}{100} \right], \quad (2.9)$$

де $I_{SC(Tr)}$ – значення струму сонячної батареї при 70°C ;

I_{SC} – значення струму в умовах STC, вказане в характеристиці модуля;

Tr – максимальна температура;

a_T – температурний коефіцієнт I_{SC} (0,03% / K).

$$I_{SC(Tr)} = 2,2 * \left[1 + (85 - 25) \frac{0,03}{100} \right] = 2,24 \text{ A}$$

Максимальна напруга

$$U_{OC(Tr)} = U_{OC} \left[1 + (Tr - 25) \frac{\beta_T}{100} \right], \quad (2.10)$$

де $U_{OC(Tr)}$ – значення напруги при температурі - 25°C ;

U_{OC} – напруга холостого ходу;

Tr – мінімальна робоча температура;

β_T – температурний коефіцієнт модуля.

$$U_{OC(Tr)} = 110 * \left[1 + (-40 - 25) \frac{-0,31}{100} \right] = 132 \text{ В}$$

Кількість модулів в стрінгі, які з'єднані послідовно

$$N_{max} \leq U_{DC \max} / U_{OC(Tr)}, \quad (2.11)$$

де $U_{DC \max}$ – максимально допустиме значення напруги на вході перетворювача.

$$N_{max} \leq \frac{900}{132} = 6,8$$

Округляю до цілого числа в меншій стороні, отримуємо, що в одному стрінгу можна встановити до 6 сонячних батарей.

Розрахунок мінімальної кількості модулів в ланцюзі з урахуванням допустимого пускового напруги інвертора.

$$U_{OC(T_{max})} = U_{OC} \left[1 + (T_{max} - 25) \frac{\beta_T}{100} \right], \quad (2.12)$$

$$N_{min} \leq U_{DC \text{ start}} / U_{OC(T_{max})}, \quad (2.13)$$

де $U_{OC(T_{max})}$ — напруга при максимальній температурі 85 ° С;

U_{OC} — напруга холостого ходу;

T_{max} — максимальна робоча температура;

β_T — температурний коефіцієнт модуля;

N_{min} — мінімальна кількість сонячних батарей;

$U_{DC \text{ start}}$ — початкова напруга.

$$U_{OC(T_{max})} = 110 * \left[1 + (85 - 25) \frac{-0,31}{100} \right] = 89,5 \text{ В}$$

$$N_{min} \leq \frac{350}{89,5} = 3,9$$

Визначення допустимої кількості модулів в ланцюзі з урахуванням МРР трекера інвертора.

$$U_{MPP(T_{max})} = U_{MPP(STC)} \left[1 + (T_{max} - 25) \frac{\beta_T}{100} \right], \quad (2.14)$$

$$N_{min} * U_{MPP(T_{max})} \geq U_{DC \text{ min}}, \quad (2.15)$$

де $U_{MPP(T_{max})}$ — напруга сонячної батареї при 85 ° С;

$U_{MPP(STC)}$ — оптимальне напруга МРРТ;

T_{max} — максимальна робоча температура;

N_{min} — мінімальна кількість модулів в стрінгах;

$U_{DC \text{ min}}$ — мінімальне значення МРРТ інвертора;

$$U_{MPP(T_{max})} = 850 * \left[1 + (85 - 25) \frac{-0,31}{100} \right] = 69,6$$

$$N_{min} \geq \frac{350}{69,9} = 5$$

Такому чином рекомендується встановлювати не менше 5 модулів в стрінг для оптимальної роботи МРРТ інвертора.

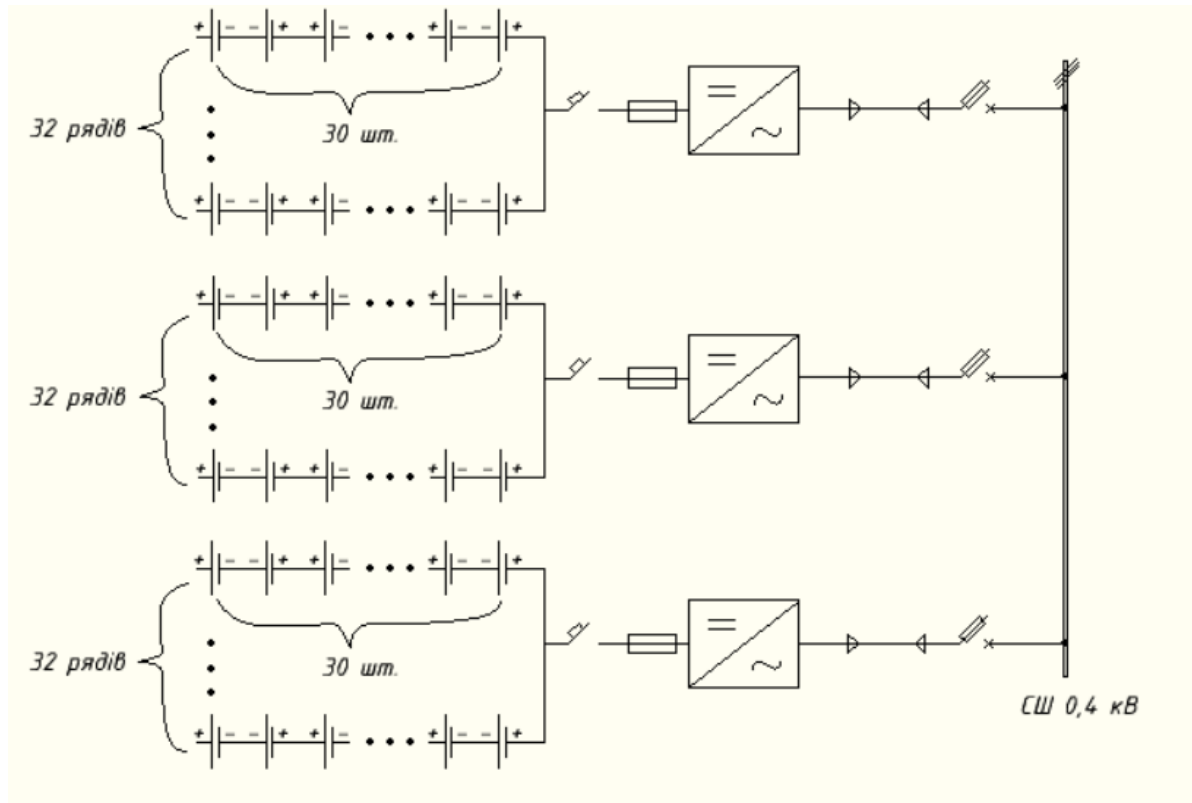


Рисунок 9 – Схема підключення сонячних модулів

З'єднання сонячних панелей здійснюється кабелем типу H1Z2Z2-K Blue Lapp Kabel Germany з поперечним перерізом 4 мм².

При виборі будь-якого кабелю необхідно створити мінімальні втрати напруги. Втрата повинна не перевищувала 2%.

$$U = R * I, \quad (2.16)$$

де I – струм сонячної панелі, А;

R – опір проводу, Ом;

$$R = \frac{\rho * l}{S}, \quad (2.17)$$

де $\rho = 0,0339$ – питомий опір кабелю, Ом/м;

$l = 1$ – відстань між двома панелями, м;

S – площа поперечного перетину, мм².

$$R = \frac{0,0339 \cdot 1}{2,5} = 0,014 \text{ Ом}$$

$$U = 0,014 \cdot 2,2 = 0,03 \text{ В}$$

Втрати напруги 0,268%, умова задовольняється – 0,268% < 2%.

2.4 Розрахунок струмів короткого замикання

Розрахунки режиму КЗ необхідні для вирішення таких завдань:

- виявлення умов роботи споживачів енергії при можливих КЗ та допустимості того чи іншого режиму;
- вибір та перевірка електроустаткування за умовами КЗ;
- проектування і налагодження засобів захисту та системної автоматики, вибір запобіжних пристроїв автоматичних комутаційних апаратів;
- зіставлення, оцінка та вибір схем електричних з'єднань СЕП;
- координація і оптимізація значень струмів та потужності КЗ;
- проектування заземлювальних пристроїв;
- визначення впливу струмів КЗ на лінії зв'язку;
- вибір розрядників для захисту електроустановок від перенапруги;
- аналіз аварій в електроустановках [5].

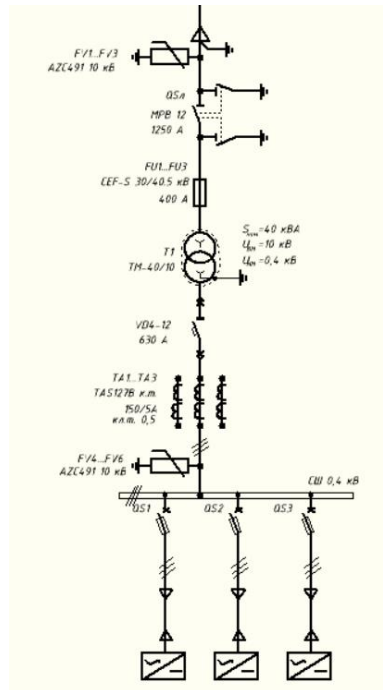


Рисунок 10 – Розрахункова схема струмів короткого замикання

2.4.1 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 10 кВ

Розрахунок виконуємо приблизним приведенням параметрів схеми заміщення елементів до базисних умов у відносних одиницях.

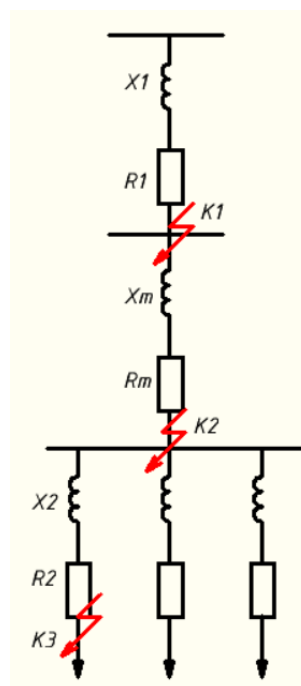


Рисунок 11 – Схема заміщення

$U_6 = 10,5$ кВ – середнє значення напруги в мережі 10 кВ;

$S_6 = 100$ МВА – базисна потужність КЗ.

Базисний струм

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_6} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА} \quad (2.18)$$

Опір системи

$$x_c = \frac{S_6}{S_{кз}} = \frac{100}{160} = 0,625, \quad (2.19)$$

де $S_{кз} = 160$ МВА – потужність КЗ на шинах електричної мережі.

Опір кабельної лінії

$$r_1 = r_0 * L_1 * \frac{S_6}{U_6^2} = 0,89 * 0,2 * \frac{100}{10,5^2} = 0,16 \quad (2.20)$$

$$x_1 = x_0 * L_1 * \frac{S_6}{U_6^2} = 0,095 * 0,2 * \frac{100}{10,5^2} = 0,017 \quad (2.21)$$

Точка К1

Результуючий опір точки К1

$$r_{K1} = 0,16$$

$$x_{K1} = x_1 + x_c = 0,017 + 0,625 = 0,642 \quad (2.22)$$

$$Z_{K1} = \sqrt{r_{K1}^2 + x_{K1}^2} = \sqrt{0,642^2 + 0,16^2} = 0,66 \quad (2.23)$$

Струм короткого замикання точки К1

$$I_{K1} = \frac{I_6}{Z_{K1}} = \frac{5,5}{0,66} = 8,3 \text{ кА} \quad (2.24)$$

Потужність короткого замикання в точці К1

$$S_{K2} = \frac{S_6}{Z_{K1}} = \frac{100}{0,66} = 151,5 \text{ МВА} \quad (2.25)$$

2.4.2 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі до 1000 В

Розрахунок струмів КЗ проводиться в іменованих одиницях. Параметри елементів розрахункової схеми приводять до ступеню напруги мережі, на якому розглядається точка КЗ. Активні та індуктивні опори елементів схеми заміщення доцільно виражати в МОм [6].

При розрахунку струмів короткого замикання в мережах до 1000 В необхідно враховувати перехідні опори котушок і контактів автоматичних вимикачів та трансформаторів струму, рубильників та підключень кабельних ліній [4]. З цією метою вводимо у розрахунок додатковий опір, значення якого приймаємо для точки К2 $r_{\text{дод1}} = 3 \text{ МОм}$, для точки К3 $r_{\text{дод2}} = 7 \text{ МОм}$.

$U_{\text{ср}} = 0,4 \text{ кВ}$ – середнє значення напруги в мережі 0,4 кВ.

Опір високовольтної частини, приведений до напруги 0,4 кВ

$$r_{K1} = R_1 * \frac{U_{2\text{ср}}^2}{U_{1\text{ср}}^2} = 0,18 * \frac{0,4^2}{10,5^2} = 0,65 \text{ МОм} \quad (2.26)$$

$$R_{L1} = r_0 * L_1 = 0,89 * 0,2 = 0,18 \text{ Ом} \quad (2.27)$$

$$x_{K1} = (x_c + X_1) * \frac{U_{2\text{ср}}^2}{U_{1\text{ср}}^2} = (0,625 + 0,019) * \frac{0,4^2}{10,5^2} = 0,93 \text{ МОм} \quad (2.28)$$

$$X_1 = x_0 * L_1 = 0,095 * 0,2 = 0,019 \text{ Ом} \quad (2.29)$$

Опір трансформатора

$$r_T = \frac{\Delta P_{K3} * U_H^2}{S_{H.T}^2} * \left(\frac{U_{\text{ср.осн}}^2}{U_{\text{ср.і}}^2} \right) = \frac{180 * 10^2}{40^2} * \left(\frac{0,4^2}{10,5^2} \right) = 80 \text{ МОм} \quad (2.30)$$

$$Z_T = \frac{u_{K\%} * U_H^2}{100 * S_{H.T}} * \left(\frac{U_{\text{ср.осн}}^2}{U_{\text{ср.і}}^2} \right) = \frac{4,5 * 10^2}{100 * 40} * \left(\frac{0,4^2}{10,5^2} \right) = 163 \text{ МОм} \quad (2.31)$$

$$x_T = \sqrt{Z_T^2 - r_T^2} = \sqrt{163^2 - 80^2} = 142 \text{ мОм} \quad (2.32)$$

Точка К2

Результуючий опір точки К2

$$r_{K2 \min} = r_{K1} + r_T + r_{\text{дод1}} = 0,65 + 80 + 3 = 83,65 \text{ мОм} \quad (2.33)$$

$$r_{K2 \max} = r_{K1} + r_T + r_{\text{дод1}} + r_{\text{д2}}, \quad (2.34)$$

де $r_{\text{д}} = 3 \text{ мОм}$ – опір дуги у місці короткого замикання за трансформатором

$$r_{K2 \max} = 0,65 + 80 + 3 + 3 = 86,65 \text{ мОм}$$

$$x_{K2} = x_{K1} + x_T = 0,93 + 142 = 142,93 \text{ мОм} \quad (2.35)$$

Повний результуючий опір, згідно (2.23)

$$Z_{K3 \min} = \sqrt{142,93^2 + 83,65^2} = 165,6 \text{ мОм}$$

$$Z_{K3 \max} = \sqrt{142,93^2 + 86,65^2} = 167,1 \text{ мОм}$$

Струм короткого замикання точки К2

$$I_{K3 \max} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3 \min}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 165,6} = 1,39 \text{ кА} \quad (2.36)$$

$$I_{K3 \min} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3 \max}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 167,1} = 1,38 \text{ кА} \quad (2.37)$$

Точка КЗ

Опір кабельної лінії 0,4 кВ від системи шин до інвертора, згідно (2.27),
(2.29)

$$r_2 = 0,64 * 1,1 = 0,704 \text{ Ом}$$

$$x_2 = 0,0625 * 1,1 = 0,069 \text{ Ом}$$

Результуючий опір точки КЗ

$$r_{\text{КЗ min}} = r_{\text{К2}} + r_2 + r_{\text{дод2}} \quad (2.38)$$

$$r_{\text{КЗ min}} = 83,65 + 704 + 7 = 794,65 \text{ мОм}$$

$$r_{\text{КЗ max}} = r_{\text{К4}} + r_{0,4} + r_{\text{дод2}} + r_{\text{д}} \quad (2.39)$$

$$r_{\text{КЗ max}} = 86,65 + 704 + 7 + 3 = 797,65 \text{ мОм}$$

$$x_{\text{КЗ}} = x_{\text{К2}} + x_2 = 142,93 + 69 = 211,93 \text{ мОм} \quad (2.40)$$

Повний результуючий опір, згідно (2.23)

$$Z_{\text{КЗ min}} = \sqrt{794,65^2 + 211,93^2} = 822,4 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{КЗ max}} = \sqrt{797,65^2 + 211,93^2} = 825,3 \text{ мОм}$$

Струм короткого замикання точки КЗ

$$I_{\text{КЗ max}} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} * Z_{\text{КЗ min}}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} * 822,4} = 0,281 \text{ кА} \quad (2.41)$$

$$I_{\text{КЗ min}} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} * Z_{\text{КЗ max}}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} * 825,3} = 0,28 \text{ кА} \quad (2.42)$$

2.5 Вибір параметрів кабельної лінії напругою 0,4 кВ

Максимальний струм інвертора

$$I_M^{\text{інв}} = \frac{P_{\text{інв}}^{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi} = \frac{10\,000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,99} = 15,2 \text{ А} \quad (2.43)$$

Номінальний перетин струмопровідних жил кабелів вибирається по допустимому струму.

Приймаємо кабель марки АВБбШв 3х2.5 (ож)-1 $I_{\text{доп.пасп}} = 28 \text{ А}$

1. Перевірка кабелю по допустимому тривалому струму навантаження

Кабель підходить, якщо виконується умова:

$$I_p < I_{\text{доп}}$$

де I_p – розрахунковий струм в мережі, А;

$I_{\text{доп}}$ – максимальна розрахункова потужність.

$$15,2 < 28 \text{ – умова виконується.}$$

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{доп.пасп}} \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_m, \quad (2.44)$$

де $k_2 = 1,0$ – поправочний коефіцієнт, що залежить від глибини прокладання кабелю (кабель напругою 0,4 кВ прокладається на глибині 0,8 м) [7, таблиця 2.6];

$k_3 = 1,0$ – поправочний коефіцієнт, що залежить від питомого теплового опору ґрунту [7, таблиця 2.7];

$k_4 = 0,95$ – поправочний коефіцієнт, що залежить від відстані між фазами [7, таблиця 2.8];

$k_m = 1,1$ – коефіцієнт навантаження.

$$I_{\text{доп}} = 28 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 29,26 \text{ А.}$$

$$15,2 \text{ А} < 29,26 \text{ – умова виконується}$$

Отже, переріз жил 2,5 мм² достатній.

2. Перевірка кабелю за втратами напруги

$$\Delta U = 100 * \frac{\sqrt{3} I_M l}{U} (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi), \quad (2.45)$$

де I_M – максимальний розрахунковий струм лінії 0,4 кВ, А (в нашому випадку – це струм, який знаходиться за номінальною потужністю інвертора);

l – довжина лінії, км;

r_0 – питомий опір лінії, Ом/км (паспортні дані вибраного кабелю).

$$\Delta U = 100 * \frac{\sqrt{3} * 15,2 * 1,1}{380} (12,6 * 0,96 + 0,116 * 0,29) = 92 \%$$

Умова вибору кабельної лінії: $\Delta U < 5\%$.

Отримане значення ΔU вказує на невірний вибір кабельної лінії. Тому необхідно збільшити переріз проводу.

АВБбШв 3х16; $I_{\text{доп.пасп}} = 77 \text{ А}$

$$\Delta U = 100 * \frac{\sqrt{3} * 15,2 * 1,1}{380} (1,98 * 0,96 + 0,0675 * 0,29) = 13,7 \%$$

13,7 % > 5 % - умова не виконується.

АВБбШв 3х50; $I_{\text{доп.пасп}} = 143 \text{ А}$

$$\Delta U = 100 * \frac{\sqrt{3} * 15,2 * 1,1}{380} (0,64 * 0,96 + 0,0625 * 0,29) = 4,5\%$$

4,5 % > 5 % - умова виконується.

Згідно розрахунків обираємо кабельну лінію типу АВБбШв 3х50.

Перевірка кабелю по допустимому тривалому струму навантаження

15,2 < 143 – умова виконується.

3. Перевірка кабельної лінії на термічну стійкість

Умова перевірки:

$$F_{min} \leq F,$$

де F_{min} – мінімальний переріз провідника, що відповідає вимозі його термічної стійкості при короткому замиканні, мм².

$$F_{min} \leq \frac{I_{\infty} \sqrt{t_{\text{відк}} + T_a}}{C}, \quad (2.46)$$

де I_{∞} – струм короткого замикання, А;

$t_{\text{відк}}$ – час протікання струму КЗ, с;

T_a – постійна часу затухання аперіодичної складової струму КЗ, рівна для розподільчих мереж напругою 0,4 кВ 0,01 с;

C – постійна, що визначається в залежності від заданої ПУЕ кінцевої температури нагріву жил і напруги, $\text{А} \cdot \text{с}^{-1/2} / \text{мм}^2$.

$$F_{min} \leq \frac{0,9 \sqrt{0,25 + 0,01}}{90}$$

$$50 \leq 50,1 \text{ – умова виконується}$$

2.6 Вибір комутаційного обладнання на напругу 0,4 кВ

Автоматичний вимикач — це контактний комутаційний апарат, що спроможний вмикати, проводити та вимикати струм, коли електричне коло у нормальному стані, а також вмикати, проводити протягом певного встановленого часу і вимикати струм при певному аномальному стані електричного кола (перевантаженні або короткому замиканні). Автоматичний вимикач призначений для нечастих вмикань, для захисту кабелів та кінцевих споживачів від перевантаження і короткого замикання. Деякі автоматичні вимикачі можуть забезпечувати захист від недопустимого зниження напруги [8].

Вибір виконується за наступними умовами:

- за напругою установки – $U_H \geq U_{уст}$;
- за родом струму і його значенням – $I_H \geq I_{рф}$;
-

$$I_{рф} = \frac{P_{фес}}{1,73U_{ном}} = \frac{10000}{1,73 \cdot 380} = 15,2 \text{ А} \quad (2.47)$$

- за конструктивним виконанням;
- за гранично допустимим струмом – $I_{відкл} > I_K^{(3)}$.
-

Таблиця 4 – Вибір автоматичного вимикача

Тип автоматичного вимикача	ВА04-36-34	
Умови вибору	Каталог	Розрахунок
$U_H \geq U_{уст}$	400 В	380 В
$I_H \geq I_{рф}$	16 А	15,2 А
$I_{відкл} > I_K^{(3)}$	3 кА	0,281 кА

Згідно розрахунків обираємо автоматичний вимикач типу ВА04-36-34.

Струм спрацьовування захисту від перевантаження

$$I_{спр.п} = 1,25 * I_{нр} = 1,25 * 16 = 20 \text{ А} \quad (2.48)$$

Уставка струму спрацьовування захисту від короткого замикання

$$I_{\text{св}} \geq 1,25i_{\text{пik}}$$

$$I_{\text{св}} = 3 * I_{\text{нр}} = 3 * 16 = 48 \text{ A} \quad (2.49)$$

$$48 \text{ A} \geq 19 \text{ A}$$



Рисунок 12 – Зовнішній вигляд автоматичного вимикача типу ВА04-36-34

Технічні характеристики автоматичного вимикача:

- номінальний струм: 16 А;
- уставка електромагнітного розчеплювача змінного струму: 125 А;
- уставка електромагнітного розчеплювача постійного струму: 160 А;
- номінальна гранична відключаюча здібність: 3 кА.

Запобіжником називається апарат, призначений для автоматичного однократного відключення електричного кола при короткому замиканні або перенавантаженні [9].

Запобіжники характеризуються номінальним струмом плавкої уставки, тобто струмом, на який розрахована плавка уставка для тривалої роботи.

Вибір виконується за наступними умовами:

- по напрузі установки – $U_{\text{н}} \geq U_{\text{уст}}$;

- за струмом – $I_H \geq I_{рф}$;
- за конструкцією і родом установки;
- по струму відключення – $I_{п.0} \leq I_{відкл.п}$;

де $I_{відкл.п}$ – граничний струм відключення.

Таблиця 5 – Вибір запобіжника

Тип автоматичного вимикача	ППНИ-33	
Умови вибору	Каталог	Розрахунок
$U_H \geq U_{уст}$	400 В	380 В
$I_H \geq I_{рф}$	16 А	15,2 А
$I_{п.0} \leq I_{відкл.п}$	5 кА	0,281 кА



Рисунок 13 – Зовнішній вигляд запобіжника типу ППНИ-33

Технічні характеристики запобіжника:

- номінальний струм: 16 А;
- номінальна напруга: 400 В;
- номінальна здібність відключення: 5 кА;
- діапазон робочих температур: -45...+60.

3 Економічний розділ

Розвиток енергозбереження, економія палива та енергетичних ресурсів призвели до широкого використання відновлюваних джерел енергії. Перспективним напрямом вважається розвиток сонячної енергетики.

Одна з перевага у використанні сонячних панелей – це доступність сонячної енергії. Україна має великий потенціал і досить непогану інсоляцію, тому питання про встановлення сонячної станції на території фермерського господарства є актуальним. Це пояснити просто – фотомодулі не тільки забезпечують повну незалежність від енергосистеми, а й дозволять заробити. Станом на 1 січня 2020 року «зелений» тариф для сонячних електростанцій потужністю до 30 кВт складає 0,16 євро за кВт*год (4,28 грн).

Завдання розрахунку полягає у визначенні економічної доцільності встановлення сонячної електростанції на фермерському господарстві «Дарина-Агро».

3.1 Розрахунок капітальних витрат

Капітальні інвестиції – це кошти, призначені для створення і придбання основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації. Капітальні інвестиції з реалізації проектного технічного рішення можуть включати:

- витрати на придбання обладнання, техніки, технології, технічних засобів контролю та обліку витрачання ресурсів, приладів діагностики стану обладнання тощо;
- витрати, пов'язані з виконанням будівельно-монтажних робіт;
- витрати, пов'язані з виконанням монтажно-налагоджувальних робіт;
- витрати фінансових коштів на проведення проектно-конструкторських робіт, підготовку персоналу та виконання інших робіт, необхідних для реалізації технічного рішення [10].

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{об}}(\sum_{i=1}^K C_i) + Z_{\text{тзс}} + Z_{\text{м}} + Z_{\text{н}} + Z_{\text{пр}}, \quad (3.1)$$

де $K_{об}(\sum_{i=1}^K C_i)$ – вартість придбання електрообладнання (засобів автоматизації, програмного забезпечення тощо) за проектом або сумарна вартість комплектуючих елементів i - го виду, необхідних для реалізації прийнятого технічного рішення;

k – кількість необхідних комплектуючих елементів;

$Z_{тзс}$ – транспортно-заготівельні і складські витрати;

Z_m – витрати на монтажні роботи;

Z_n – витрати на налагоджувальні роботи;

$Z_{пр}$ – інші одноразові вкладення грошових коштів.

Таблиця 6 – Зведення витрат на придбання електрообладнання

№ з/п	Найменування технічних засобів (комплектуючих виробів)	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
1	Фотомодулі типу Solar Frontier SF165-S	969 шт.	5 600	5 426 400
2	Інвертор типу ABi-Solar HT 10K3P	1 шт.	111 048	111 048
3	Кабель 6 мм мідний сонячний KBE Solar 50618, чорний	1938 м	35	68 256
4	Силовий кабель типу АВБбШв 3х50	1100 м	80	88 154
5	Елементи кріплення та електричні елементи	-	-	100 000
Всього				5 693 859

$$K_{об} = 5\,426\,400 + 111\,048 + 68\,256 + 88\,154 + 100\,000 = 5\,693\,859 \text{ грн}$$

1. Транспортно-заготівельні і складські витрати

- доставка сонячних панелей із м. Кривий Ріг до с. Зарічани, при умові використання послуг компанії Transportica [11], вартість перевезення – 22,62 грн/км при вазі 20 тонн;

- доставка інверторів із м. Київ до с. Зарічани, використовуємо оператора перевезення «Нова пошта»;
- доставка кабелю сонячного KBE Solar із м. Луцьк до с. Зарічани, використовуємо оператора перевезення «Нова пошта»;
- доставка силового кабелю типу АВББШв 3х50 здійснюється безкоштовно, за рахунок компанії.

Таблиця 7 – Зведення транспортно-заготівельних витрат

№ з/п	Найменування технічних засобів (комплектуючих виробів)	Кількість	Маса одиниці виробу	Вартість доставки, грн.
1	Фотомодулі типу Solar Frontier SF165-S	969 шт.	20 кг	12 102
2	Інвертор типу ABi-Solar HT 10K3P	1 шт.	45 кг	2 080
3	Кабель мідний сонячний H1Z2Z2-K 4 мм ² Blue Lapp Kabel Germany	1938 м	0,075 кг/м	920
4	Силовий кабель типу АВББШв 3х50	3300 м	2,89 кг/м	-
Всього				15 102

2. Витрати на монтажні та налагоджувальні роботи

За даними компанії Energo Watt [12]:

- вартість монтажу сонячної електростанції потужністю 10 кВт складає 10 620 грн.
 - вартість налагоджувальних робіт складає 11 044 грн.
- ## 3. До інших одноразових вкладень грошових коштів відносяться:
- конструкція для кріплення сонячних панелей;
 - додаткові електричні елементи та обладнання (автомати, запобіжники, витратні матеріали тощо).

Проектні капіталовкладення:

$$K_{\text{пр}} = 5\,693\,859 + 15\,101 + 10\,620 + 11\,045 + 100\,000 = 5\,830\,626 \text{ грн}$$

3.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати - це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта проектування за певний період (рік), виражені в грошовій формі [10].

$$C = C_a + C_z + C_c + C_t + C_{\text{э}} + C_{\text{пр}}, \quad (3.2)$$

де C_a – амортизаційні відрахування;

C_z – заробітна плата обслуговуючого персоналу;

C_c – єдиний соціальний внесок;

C_t – витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування та мереж;

$C_{\text{э}}$ – вартість електроенергії, що буде споживана об'єктом проектування або витрат електроенергії;

$C_{\text{пр}}$ – інші експлуатаційні витрати.

3.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Амортизація об'єкта основних засобів нараховується виходячи з терміну його корисного використання. Фотомодулі відносяться до групи 9 – інші основні засоби з терміном мінімального використання 12 років.

$$\Phi_a = \Phi_{\text{п}} - Л, \quad (3.3)$$

де $\Phi_{\text{п}}$ – первісна вартість об'єкта основних засобів;

Л – розрахункова ліквідаційна вартість основних засобів.

Очікувану ліквідаційну вартість вважаємо рівною нулю.

$$\Phi_a = \Phi_{\Pi} = 5,83 \text{ млн. грн.} \quad (3.4)$$

Норма амортизації

$$H_a = \frac{\Phi_{\Pi} - Л}{\Phi_{\Pi} * T_{\Pi}} * 100\% = \frac{5,83 - 0}{5,83 * 12} * 100\% = 8,3\%, \quad (3.5)$$

де T_{Π} – термін корисного використання.

Річні амортизаційні відрахування

$$AO = \frac{\Phi_{\Pi} * H_a}{100} = \frac{5,83 * 8,3}{100} = 0,48 \text{ млн. грн.} \quad (3.6)$$

3.2.2 Розрахунок річного фонду заробітної плати

Необхідність в розрахунку річного фонду заробітної плати немає, так як обслуговуючий персонал відсутній.

3.2.3 Витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування

Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт сонячної електростанції не передбачуються. Періодичний огляд фотомодулів та обладнання входить в обов'язки чергового електрика на території фермерського господарства.

3.2.4 Розрахунок вартості спожитої електроенергії

В розрахунку вартості електроенергії, що буде споживана об'єктом проектування або втрат немає необхідності, так як об'єкт генерує електричну енергію.

Експлуатаційні витрати:

$$C = C_a = 483\,890 \text{ грн.}$$

3.3 Визначення річної економії від впровадження науково-технологічного рішення

Повна річна економія від впровадження прийнятого науково-технічного рішення визначається з урахуванням експлуатаційних витрат по даному об'єкту:

$$E_{K_n} = E_{K_p} - C, \quad (3.7)$$

де E_{K_p} – річна економія від впровадження прийнятого науково-технічного рішення.

Кількість спожитої електричної енергії зерносховища мінімальна: до споживачів відносяться лише світлодіодні лампи – 38,8 кВт*год за рік.

Приблизна кількість виробленої електричної енергії – 606,5 МВт*год за рік.

Станом на 2020 рік вартість «зеленого тарифу» складає 4,28 грн. за 1 кВт*год.

Таким чином за рік можливо відшкодувати вкладені в проекти кошти на суму:

$$4,28 * 606\,542 = 2,596 \text{ млн. грн.}$$

Повна річна економія

$$E_{K\Pi} = 2,596 - 0,48 = 2,12 \text{ млн. грн.}$$

3.4 Визначення та аналіз показників економічної ефективності

Коефіцієнт ефективності (прибутковості) капітальних витрат E_p показує, скільки гривень додаткового прибутку (економії) приносить одна гривня капітальних витрат:

$$E_p = \frac{E_{K\Pi}}{K_{\Pi\Pi}} = \frac{2,12}{5,83} = 0,36 \quad (3.8)$$

Термін окупності капітальних витрат показує, за скільки років вони окупляться за рахунок загальної економії від впровадження прийнятого технічного рішення:

$$T_p = \frac{K_{\Pi\Pi}}{E_{K\Pi}} = \frac{5,83}{2,12} = 2,8 \quad (3.9)$$

Для остаточної оцінки варіантів і вибору найбільш ефективного з них необхідно порівняти розрахункове значення E_p з нормативним значенням E_n . Проект капітальних вкладень визнається доцільним за умови:

$$E_p > E_n$$

Нормативне значення коефіцієнта ефективності можна також виходячи з прийнятної для підприємства індивідуальної норми прибутковості:

$$E_n = \frac{1}{T_{оч}}, \quad (3.10)$$

де $T_{оч}$ – очікуваний, прийнятий для підприємства термін окупності капітальних вкладень, років.

$$E_n = \frac{1}{5} = 0,2$$

$$0,36 > 0,2$$

3.5 Висновки

У розділі «Техніко-економічне обґрунтування» встановлено, що:

- капітальні витрати становлять 5,83 млн. грн.;
- експлуатаційні витрати – 515 млн. грн.;
- розрахунковий коефіцієнт ефективності – 0,36;
- розрахунковий термін окупності – 2,8 років.

Згідно розрахунків, розроблений проект є доцільним для впровадження на фермерському господарстві «Дарина-Агро», тому що експлуатація сонячної електростанції дозволить не тільки зекономити на електроенергії, що споживається підприємством, а й заробити. До того ж устаткування не потребує технічного обслуговування при експлуатації. Ці всі фактори впливають на термін окупності, що складає лише 2,8 років.

4 Охорона праці

4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих чинників сонячної електростанції

При монтажі та експлуатації сонячної електростанції необхідно розуміти, що справа мається з електричною енергією. Основна небезпека полягає у тому, що електричний струм невидимий. При враженні струмом можливе механічне ураження тканин і вплив на нервову систему.

Проходячи через організм, електричний струм, здійснює термічну і електролітичну дії. Термічна дія струму проявляється в опіках окремих ділянок тіла, нагріванні кровоносних судин, нервів, крові і тому подібне. Електролітична дія струму проявляється в розкладанні крові та інших органічних рідинах, викликаючи значні порушення їхніх фізико-хімічних складів. Біологічна дія струму проявляється роздратуванням і збудженням живих тканин організму, що супроводжується мимовільними судорожними скороченням серця. В результаті можуть виникнути різні порушення в організмі, в тому числі порушення і навіть повне припинення діяльності органів кровообігу та дихання [13].

Електричні травми – це яскраво виражені місцеві пошкодження тканин організму, викликані впливом електричного струму або електричних елементів дуги. Зазвичай це ураження інших м'яких тканин, а також зв'язок і кісток.

Причини враження людини електричним струмом наступні:

- недотримання техніки безпеки;
- через дотик незахищеної ділянки тіла до струмоведучої частини обладнання або до оголеного неізолюваного проводу;
- через дотик до металевої частини пошкодженого обладнання;
- ураження через електричну дугу.

4.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці

Мета охорони праці – попередження травматизму та професійних захворювань. Заходи по охороні праці повинні передбачатися на стадії проектування, будування, експлуатації та ремонту.

До основних заходів захисту відносяться:

- встановлення спеціальних захисних апаратів (запобіжники, автоматичні вимикачі, реле диференційного струму тощо);
- постійний нагляд за станом ізоляції;
- забезпечення недоступності до струмоведучих частин;
- організація безпечної експлуатації електроустановок.

Як і будь яке обладнання сонячні панелі повинні використовуватися лише за їх прямим призначення. Не можна самостійно вносити технічні зміни в обладнання. Дотримуватися правил експлуатації електроустановки, не наражати її механічним ударам, не допускати падінь.

Напруга на виводах сонячної батареї може з'являтися при мінімальному зовнішньому освітленні. Отже, для безпечного відключення сонячних батарей від системи необхідно встановити вмикач, автоматичний вимикач або коробку запобіжників в доступному місці.

Не можна торкатися проводів і інших струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, без засобів індивідуального захисту.

Установка сонячних батарей не виконується при сильному вітрі. Необхідно підготувати місце для монтажу сонячної станції для попередження травматизму чи ушкоджень.

На місці проведення монтажних або ремонтних робіт повинні бути проведені технічні заходи, наприклад, установка заземлення, попереджувальних знаків.

При необхідності ремонту обладнання, його спочатку потрібно відключити. Відключена ділянка повинна мати видимі розриви з кожного боку струмоведучих частин, на які може бути подана напруга. Видимі

розриви забезпечують знятими запобіжниками. При відключенні напруги необхідно плавкі запобіжники знімати за допомогою ізольованих кліщів в діелектричних рукавичках і захисних окулярах.

При появі несправності в роботі електроустановки припинити роботу і повідомити адміністрацію установи. Роботу продовжувати тільки після усунення несправності.

4.3 Пожежна профілактика

Протипожежний захист - це комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки людей, запобігання пожежі, обмеження її розповсюдження, а також на створення умов для успішного гасіння пожежі.

Основними причинами пожежі в сонячних панелях можуть бути викликані коротким замиканням, фізичним ушкодженням або перегрівом панелі. Сюди можна віднести електронні схеми, прилади для технічного обслуговування і аналізу.

Усі струмопровідні частини, розподільні пристрої, апарати та вимірювальні прилади, а також запобіжні пристрої розривного типу, монтуються тільки на негорючих підставах (мармур, текстоліт, гетинакс).

При пожежі, щоб погасити обладнання, що працює під напругою, потрібно застосувати спеціальні засоби і дотримуватись спецзаходів з безпеки.

Слід вжити заходів для захисту від розплавлення ізоляції, підвищення температури і появи додаткового джерела задимлення, загорання..

Всі електроустановки перед гасінням слід знеструмити, відключивши від джерел живлення, і заземлити. По можливості навколо влаштовується теплоізоляція для захисту іншого обладнання або вживаються заходи для запобігання переходу полум'я на сусідні установки. Гасіння здійснюється від

краю ділянки, просуваючись всередину і виключаючи ймовірність поширення полум'я.

Для гасіння пожежі в електроустановках використовуються такі типи вогнегасників:

- порошкові;
- повітряно-пінні;
- вуглекислотні.

У порошкових вогнегасниках активною речовиною є спеціальний порошок у вигляді мінеральної солі, який при розпилюванні знижує температуру поверхні і обмежує доступ кисню. Така система ефективна і безпечна, що дозволяє усунути вогнище загоряння в приміщеннях будь-якого призначення [14].

Для повітряно-пінних вогнегасників використовується активне туша речовина у вигляді піни, утворення якої відбувається механічним методом. Такі кошти оптимально підходять для великих приміщень, складів, ангарів.

Вуглекислотні вогнегасники відносяться до газових, при їх використанні для ліквідації загоряння подається вуглекислота під великим тиском. Перед початком протипожежних заходів з території об'єкта слід видалити всіх сторонніх осіб, персонал працює в масках. Перевагою цього методу є низька температура речовини, що гасить вогонь, відсутність негативного механічного впливу [14].

4.4 Розрахунок захисного заземлення

Мета розрахунку – визначити параметри заземлення: кількість, розміри і розміщення на плані об'єкта, що захищається, вертикальних і горизонтальних електродів.

Щоб забезпечити заземлення сонячних батарей для зерносховища, необхідно з'єднати між собою провідником все сонячні батареї, встановлені

на об'єкті, а також з'єднати їх з конструкцією, на якій вони закріплені (в разі якщо вона металева) і підключити цей провідник до контуру заземлення.

Опір заземлення сонячної електростанції, згідно [15, таблиця 3.2] не повинен перевищувати 4 Ом.

Площа зерносховища складає 20х50 м². Таким чином:

- довжина контуру заземлення становить $D = 50$ м;
- ширина контуру заземлення - $Ш = 20$ м;
- верхній шар ґрунту – пісок, нижній – чорнозем;
- в якості природних заземлювачів використано залізобетонний фундамент зерносховища.

Опір при використанні залізобетонних фундаментів як природних заземлювачів

$$R_l = 0,5 \frac{\rho_3}{\sqrt{S}}, \quad (4.1)$$

де S – площа, обмежена периметром будинку, м²,

ρ_3 – питомий еквівалентний електричний опір ґрунту, Ом·м, що визначається за формулою

$$\rho_3 = \rho_1 \left(1 - e^{-a \frac{h_1}{\sqrt{S}}} \right) + \rho_2 \left(1 - e^{-b \frac{\sqrt{S}}{h_1}} \right), \quad (4.2)$$

де ρ_1, ρ_2 – питомий опір верхнього і нижнього шарів землі відповідно, Ом·м;

h_1 – товщина верхнього шару землі, м;

a, b - безрозмірні коефіцієнти, що залежать від співвідношення питомих опорів шарів землі.

$$\rho_3 = 500 \left(1 - e^{-3,6 \frac{1}{\sqrt{1000}}} \right) + 25 \left(0,96 = 1 - e^{-0,1 \frac{\sqrt{1000}}{1}} \right) = 77,8 \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

$$R_l = 0,5 \frac{125,5}{\sqrt{1000}} = 0,49$$

$$I_{K3}^{(1)} \leq (5,4 + 7 * 10^{-3} \rho_1) \frac{\sqrt{S}}{\rho_3}$$

Струм однофазного короткого замикання

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_{T0}}{3} + Z_n}, \quad (4.3)$$

де U_ϕ – фазна напруга мережі;

Z_n – повний опір петлі: фазний - нульовий провід;

Z_{T0} – повний опір трансформатора.

$$Z_{n.K3} = \sqrt{(R_c + R_{d1} + R_{дод.K3})^2 + (X_c)^2} \quad (4.4)$$

де R_{d1} – опір дуги в точці КЗ приймається;

X_c, R_c – опір живлячої системи.

$$Z_{n.K3} = \sqrt{7^2 + 0,625^2} = 7,03 \text{ МОм}$$

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{220}{\frac{163}{3} + 7,03} = 3,6 \text{ кА}$$

$$I_{K3}^{(1)} \leq (5,4 + 7 * 10^{-3} * 500) \frac{\sqrt{1000}}{77,8} = 3,62$$

$3,6 > 3,62$ – умова здійснюється.

В залізобетонних конструкціях передбачено закладні деталі для приєднання електричного і технологічного устаткування.

Отже, у встановленні штучних заземлювачів немає необхідності.

Висновок

На прикладі сонячної електростанції, розташованої на території фермерського господарства, можна зробити висновок, що використання відновлюваних джерел енергії в сільському господарстві є доцільним, економічним та екологічним вирішенням питання подачі електроенергії. До того ж за рахунок низьких експлуатаційних витрат – мінімальна кількість обслуговуючого персоналу, висока автоматизація і незначні витрати на техобслуговування – терміни окупності незначні. Проаналізовано стан сонячної енергетики в Україні та розглянуто доцільність встановлення сонячної електростанції на території Житомирської області.

Список літератури

1. Перспективи розвитку альтернативної енергетики на Поліссі України / В. О. Дубровін, Л. Д. Романчук, С. М. Кухарець [та ін.]; відп. ред. О. В. Скидан. – К. : Центр учбової літератури, 2014. – 335 с.
2. Розвиток альтернативної енергетики в АПК / К.В. Мазур: Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету, 2012. – 6 с.
3. Альтернативні джерела енергії в проектуванні будівель/ Геворкян П.: The McGraw-Hill Companies, 2009. – 545 с.
4. Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з дисципліни “Сонячна енергетика” для студентів спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" / І.М. Луценко, Є.В. Кошеленко, П.С. Циган, – Д.: НТУ «Дніпровська політехніка», 2019. – 20 с.
5. Перехідні процеси в системах електропостачання: підручник для ВНЗ / Г.Г. Півняк, І.В. Жежеленко, Ю.А. Папаїка, Л.І. Несен, за ред. Г.Г. Півняка ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – 5-те вид., доопрац. та допов. – Дніпро : НГУ, 2016. – 600 с.
6. Розрахунок струмів короткого замикання та вибір електрообладнання на електричних станціях та підстанціях. Методичні вказівки для студентів спеціальності 6.090600 “Електричні системи та мережі”. / Укл.: Буйний Р.О., Ананьєв В.М., Тисленко В.В. – Чернігів: ЧДТУ, 2004-70с.
7. Керівництво з вибору, прокладки, монтажу, випробовувань та експлуатації кабелів з ізоляцією з зшитого поліетилену. / ПАТ «ЗАВОД «Південкабель». – 87с.
8. Електропостачання агропромислового комплексу: підруч. / Козирський В.В., Каплун В.В., Волошин С.М. - К.: Аграрна освіта, 2011. – 448с.

9. Електропостачання сільського господарства / Притака І.П., Козирський В.В. – К.: Урожай, 1995, - 304 с.
10. Методичні вказівки до виконання економічної частини кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Укладачі: Л.В. Тимошенко, Н.В. Дементьєва - Дніпро: НТУ «ДП», 2019. – 14 с.
11. Transportica [Електронний ресурс] / Транспортно-інформаційний сервіс. — Режим доступу: <https://ua.transportica.com/transport/>
12. Компанія Енерго-Ватт [Електронний ресурс] / Енерго-Ватт. — Режим доступу: <https://energo-watt.com.ua/>
13. Дія електричного струму на людину і перша допомога потерпілому /П.А. Долін. — 2-е вид., перероб. и доп. — Москва: Енерія, 1976. — 128с.
14. Гасіння пожеж в електроустановках /Б.І. Кашолкін, Е.А. Мешалкин. — Москва: Енергоатоміздат, 1985. — 112с.
15. Методичні вказівки з виконання розрахункової частини розділу „Охорона праці” в дипломних проектах студентів інституту електроенергетики. Частина 1 / В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Я.Я. Лебедев, В.Є. Колесник – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет. – 2004. – 34 с.